PCS 2428 / PCS 2059
Inteligência Artificial

Prof. Dr. Jaime Simão Sichman
Prof. Dra. Anna Helena Reali Costa

Representação de Problemas
Espaço de Estados

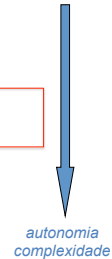
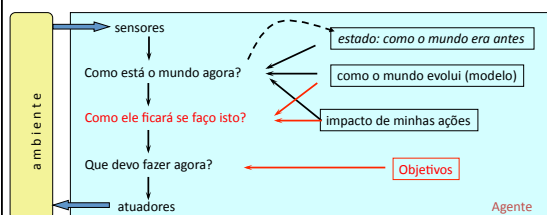
Arquiteturas

- Agente tabela
- Agente reativo
- Agente baseado em modelo
- Agente baseado em objetivos
- Agente baseado em utilidade
- Agente aprendiz

autonomia complexidade

2

Agente baseado em objetivo

sensores
Como está o mundo agora?
Como ele ficará se faço isto?
Que devo fazer agora?
atuadores
estado: como o mundo era antes
como o mundo evolui (modelo)
impacto de minhas ações
Objetivos
Agente
ambiente

- Vantagens e desvantagens:
  - Mais *complicado* e *ineficiente*, porém mais *flexível*, *autônomo*
  - Não trata objetivos conflitantes
- Ambientes: determinístico

3

Agente solucionador de problemas (guiado por objetivo – deliberativo)

- Busca uma *seqüência de ações* que o leve a estados desejáveis (*objetivos*).
- Propriedades do ambiente para este agente:
  - **Estático** (não muda enquanto o agente delibera)
  - **Discreto** (enumera seqüências alternativas de ações)
  - **Determinístico** (solução é seqüência de ações, i.e., não lida com eventos inesperados pois executa a seqüência definida sem considerar percepções ➔ sistema de controle em malha aberta)
  - **Observável** (e sabe seu estado inicial)
    - Algumas flexibilizações serão feitas em relação às propriedades de determinismo e observabilidade.

4

Agentes solucionadores de problemas

- O que é um problema em I.A.?
- Como formulá-lo?
- Como buscar a solução do problema?
- Como avaliar a solução e o processo de encontrá-la?

5

Definição de Problema
Quatro componentes:

- Estado inicial do problema (onde o agente inicia)
- Descrição das possíveis ações do agente:
  - Pela função sucessor: dado um estado ***x***, ***suc(x)*** retorna um conjunto de pares ordenados ***(a,y)***, onde ***a*** indica cada ação válida em ***x*** e ***y*** é o estado sucessor.
  - Pelo conjunto de operadores que podem ser aplicados em um estado para gerar os sucessores.
- Um teste de término:
  - Pode ser um conjunto de estados-objetivos ou
  - Propriedade mais abstrata (ex. cheque-mate em xadrez)
- Uma função de custo da solução
  - avalia numericamente cada solução (medida de desempenho)

6

Definição de Solução

- O estado inicial e a função sucessor implicitamente definem o espaço de estados do problema
- O espaço de estados é descrito por um grafo onde os vértices representam estados e as arestas, ações.
- Um caminho no espaço de estados é uma seqüência de estados conectada por uma seqüência de ações.
- Uma solução para um problema é um caminho do estado inicial para um estado meta (objetivo).
- A qualidade da solução é medida pela função de custo da solução.

8

Exemplo 1: Agente Aspirador de Pó

Qual seria a noção de estado conveniente?

R: Localização do aspirador, grau de limpeza do quarto

Quantos seriam os possíveis estados ?

R: Possíveis estados: 8

9

Exemplo 1: Agente Aspirador de Pó

1 2 3 4 5 6 7 8

- Formulação do problema:
  – Estado inicial: qualquer um dos 8 estados acima
  – Operadores: mover direita (R), mover esquerda (L), aspirar (S)
  – Função sucessor: suc(1) = {(R,2), (L,1), (S,5)}, ..
  – Teste de término: os dois quartos limpos (estados 7 e 8)
  – Custo do caminho: quantidade de ações realizadas (custo 1 para cada ação)

10

Exercício 1:

- Considerando os oito estados possíveis (ao lado), representar o espaço de estados como um grafo, com os estados como vértices e as ações como arestas.
- Ações: R, L e S

1 2 3 4 5 6 7 8

11

Exercício 2

- Considere que o agente inicie no estado 5.
- Utilizando o espaço de estados do problema, encontre pelo menos três soluções para o problema.

Problema: se agente em 5?

Solução 1: LLSRRS ➔ CUSTO=6
Solução 2: SRRS ➔ CUSTO=4
Solução 3: RS ➔ CUSTO=2 .....

Exemplo 2: Jogo dos 8 números

Qual seria a noção de estado conveniente?

R: Posição das peças e do branco no tabuleiro

Quais seriam os operadores? Mover as peças!

Exemplo 2: Jogo dos 8 números

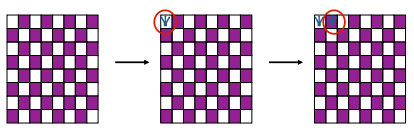
Qual seria a noção de estado conveniente?

R: Posição das peças e do branco no tabuleiro

Quais seriam os operadores? Mover o branco!

Exemplo 2: Jogo dos 8 Números

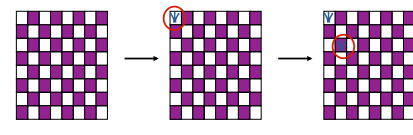
- Estado inicial:
  - cada estado especifica a posição de cada uma das 8 peças e do branco no tabuleiro de 9 posições
  - O estado inicial pode ser qualquer estado
- Função sucessor:
  - Gera os estados possíveis que resultam ao aplicar cada uma de 4 ações: branco para esquerda (L), para a direita (R), para cima (U), para baixo (D)
- Teste de término
  - Números ordenados, branco em [3,3].
- Custo do caminho
  - quantidade de ações realizadas (custo 1 para cada ação)

Exemplo: Jogo das 8 Rainhas

- Jogo das 8 Rainhas
  - Estado: cada estado especifica a posição de cada uma das posições do tabuleiro
  - Teste de término: dispor 8 rainhas de forma que não possam se "atacar"
  - Custo da solução: ignorado

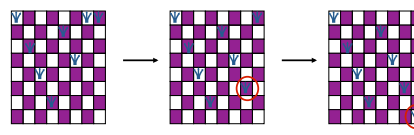
Existem pelo menos 2 maneiras de formular este problema:

•**Formulação incremental**: envolve operadores que adicionam uma rainha a mais no tabuleiro

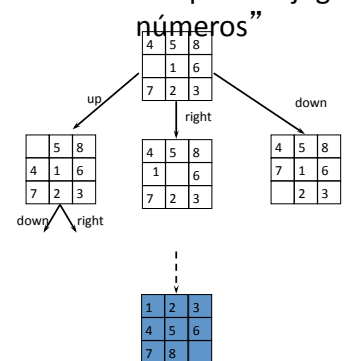
•**Formulação por estado completo**: envolve operadores que alteram a linha de uma rainha no tabuleiro, mantendo a sua coluna

Importância da Formulação

- Formulação incremental (1)
  - **Estado**: qualquer disposição de 0 a 8 rainhas no tabuleiro
  - **Estado inicial**: tabuleiro sem rainhas;
  - **Operador**: adicionar uma rainha a qualquer casa vazia
  - **Teste de término**: 8 rainhas sem ataque mútuo

O espaço de estados tem 64x63x...x57 ≈ 3×10^{14} estados!!

Importância da Formulação

- Formulação incremental (2)
  - **Estado**: qualquer disposição de 0 a 8 rainhas no tabuleiro, dispostas da esquerda para a direita que não se ataquem
  - **Estado inicial**: tabuleiro sem rainhas;
  - **Operador**: adicionar uma rainha em qualquer casa na coluna vazia mais à esquerda de forma que não possa ser atacada (teste gradual)
  - **Teste de término**: 8 rainhas sem ataque mútuo

O espaço de estados tem 2057 estados!!

Importância da Formulação

- Formulação por **estado completo**:
  - **Estado**: qualquer disposição 8 rainhas no tabuleiro, sendo uma em cada coluna
  - **Estado inicial**: qualquer estado
  - **Operador**: alterar a posição de uma rainha atacada para outra linha, na mesma coluna *(cada estado tem 8x7=56 sucessores)*
  - **Teste de término**: 8 rainhas sem ataque mútuo

Como encontrar a solução?

- Uma vez o problema bem formulado, o estado meta deve ser "buscado" no espaço de estados
- A busca é representada em uma árvore de busca:
  1. Raiz: corresponde ao estado inicial
  2. Expande-se o estado corrente: aplica-se a função sucessor ao estado corrente, gerando um novo conjunto de sucessores
  3. Escolhe-se o próximo estado a expandir seguindo uma estratégia de busca
  4. Prossegue-se até sucesso (atingir estado meta – retorna solução) ou falha
- Espaço de estados ≠ árvore de busca
  - TSP com 20 cidades: espaço de estados = 20 estados (=cidades), árvore de busca com infinitos vértices (na prática, a busca evita repetir estados).

Árvore de busca para o "jogo dos 8 números"

4	5	8
	1	6
7	2	3

up:

	5	8
4	1	6
7	2	3

right:

4	5	8
1		6
7	2	3

down:

4	5	8
7	1	6
	2	3

down, right

1	2	3
4	5	6
7	8	

Medida de Desempenho na Busca (1)

- Desempenho de um algoritmo de busca:
  - **Completo**: se existir uma solução, ela certamente é encontrada?
  - **Ótimo**: a busca encontra a solução de menor custo?
  - **Complexidade temporal**: quanto tempo demora para encontrar a solução?
  - **Complexidade espacial**: quanto de memória é usado para realizar a busca?
- Em IA a árvore de busca é tipicamente infinita ➔ complexidade é expressa por:
  - **b** – fator de ramificação (*branching*) ou número máximo de sucessores de um nó;
  - **d** – profundidade (*depth*) do nó-meta mais próximo da raiz;
  - **m** – comprimento máximo de um caminho no espaço de estados.

Medida de Desempenho na Busca (2)

- Custo total = custo da solução + custo da busca
  - custo da solução (ex. TSP: caminho a percorrer, em km)
  - custo da busca (tipicamente depende da complexidade em tempo)

  Problema: relacionar custo da solução (km) com o da busca (seg)
- Espaço de estados grande:
  - compromisso (conflito) entre a melhor solução (menor custo da solução) e a solução mais barata (menor custo da busca)

25

Métodos de Busca

- Busca cega (busca não informada)
  - Não tem informação sobre qual sucessor é mais promissor para atingir a meta.
  - Estratégias de Busca (ordem de expansão dos nós):
    - busca em largura
    - busca de custo uniforme
    - busca em profundidade
    - busca em profundidade limitada
    - busca em profundidade com aprofundamento iterativo
    - busca bidirecional
- Busca heurística (busca informada)
  - Possui informação (estimativa) de qual sucessor é mais promissor para atingir a meta.

26